

路基稳定性 监测技术

沈宇鹏 田亚护 冯瑞玲 ①编
刘建坤 ①主审



路基稳定性监测技术

沈宇鹏 田亚护 冯瑞玲 编
刘建坤 主 审

机械工业出版社

路基稳定性监测工作是铁（公）路保质完工和安全运营的保障。监测技术是陆路交通运输行业从事设计、施工和养护的人员必须掌握的基础知识；不仅要求技术人员掌握监测设备和元器件的工作原理，同时要求他们熟练掌握监测数据的处理和分析方法，并能及时反馈到施工一线。本书主要内容包括：概述、路基的监测方案设计、常用安全监测仪器与方法、监测资料的整理分析和反馈路基稳定性监测实例分析。案例分析包括软土复合地基、黄土粉喷桩复合地基、多年冻土斜坡路基及路涵过渡段等工程监测实例。

本书可作为道路与铁道工程、岩土工程、工程地质等专业的本科生和研究生教材，也可供相关专业技术人员在从事设计、施工及运营等工作时参考。

图书在版编目（CIP）数据

路基稳定性监测技术/沈宇鹏，田亚护，冯瑞玲编. —北京：机械工业出版社，2016.1

ISBN 978-7-111-52542-4

I. ①路… II. ①沈…②田…③冯… III. ①路基工程—结构稳定性—监测 IV. ①U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 318488 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：林 辉 责任编辑：林 辉

版式设计：霍永明 责任校对：刘志文

封面设计：路恩中 责任印制：李 洋

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 11.75 印张 · 226 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-52542-4

定价：39.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833 机 工 官 网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网：www.golden-book.com

前 言

2014年年底我国高速铁路运营里程达到了1.6万 km, 铁路总里程11.2万 km; 公路运输达到了446.39万 km。同时, 习近平总书记提出了具有国际化战略的“一带一路”战略构想, 交通运输行业不仅要优化完善国内已有路网, 而且要努力完善世界上的路网。因此, 在“十三五”规划中还将开展大量的铁路、公路建设项目。

路基与桥梁、隧道相比, 有着价格低、设计施工简捷、维修方便等优点, 是线路工程师首选的结构形式, 但由于路基在修筑后运营条件不如桥隧工程, 而经常被设计和业主单位所摒弃。这是由于路基在运营过程中, 长期暴露在大气中, 在列车(车辆)长期作用下可能会出现水、热、力等方面的不稳定。

特殊土具有特殊的工程性质, 在上面修筑路基将出现不同的工程问题, 如在软土地区填筑高路堤就需要注意填筑的速率及运营后产生的工后沉降。所以在特殊地段应采取合理措施对线路进行处理, 否则会导致线路在运营过程中出现行车不平稳现象甚至行车事故。例如, 在路桥过渡段需要消除刚度和沉降差异引起的线路不平顺; 在滑坡地段修筑路堤, 为避免行车事故就需要考虑线路与滑坡主轴的相互关系。为了克服以上工程问题, 通常在设计和施工中采用相应工程措施; 与此同时, 在一些特殊的工点会引进新材料和新方法, 以及通过现场试验来获取优化设计参数。路基稳定性监测是评估和监控路基设计、施工和运营最直接的手段。为了评估路基的稳定性, 需要对现场进行相应的监测, 监测内容包括变形量、应力量、温度及水位。路基工程设计和新材料、新方法是否合理, 在很大程度上取决于路基修筑后能否为铁路(公路)提供一个安全、平稳、舒适的行车环境。

本书的编写参考了大量的相关文献资料, 并结合编者多年来主持或参与的实际工程。第1~4章系统地介绍了路基稳定性监测工作所采用的设备、元器件的工作原理, 路基稳定性监测的方法、监测等级要求, 监测数据分析方法以及相应的现场施工组织情况; 第5章采用实际工程案例来详细说明监测断面设置的目的、方法和监测手段以及现场注意事项, 让读者更好地理解并掌握相关的监测内容。

本书共5章, 第1、3章, 以及第5章5.1、5.2节由北京交通大学沈宇鹏

编写,第2、4章由北京交通大学田亚护编写,第5章第5.3、5.4节由北京交通大学冯瑞玲编写,全书由北京交通大学刘建坤教授审稿。本书编写过程中得到北京交通大学道路与铁道工程系许多同事的大力协助,在此一并表示感谢。

本书得到以下项目资助:国家重点基础研究发展计划(973)(2012CB-026104)、国家自然科学基金(41271072,51578053)、中央高校基本业务费专项资金(2015JBM064)。

限于作者水平,书中疏漏及不足之处,恳求读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
【学习要点】	1
1.1 路基稳定性概况	1
1.2 路基稳定性监测技术概况	2
1.2.1 路基稳定性监测技术的发展	2
1.2.2 路基稳定性监测的原则	4
1.2.3 路基稳定性监测的步骤	5
1.2.4 路基工程监测的基本要求	7
1.2.5 监测仪器的设置原则及监测设计控制标准	8
思考题	8
第2章 路基的监测方案设计	9
【学习要点】	9
2.1 特殊土路基的监测方案	9
2.1.1 软土路基	9
2.1.2 黄土路基	10
2.1.3 多年冻土路基	13
2.2 路基特殊部位的监测设计	14
2.2.1 过渡段处路基监测设计	14
2.2.2 滑坡地段路基监测设计	15
2.2.3 潜在泥石流地段路基监测设计	17
思考题	20
第3章 常用安全监测仪器与方法	21
【学习要点】	21
3.1 概述	21
3.2 测试技术基础	27
3.3 常用传感器的类型和工作原理	27
3.3.1 差动电阻式传感器	28
3.3.2 钢弦式传感器	30
3.3.3 电感式传感器	33
3.3.4 电阻应变片式传感器	36

3.3.5	光纤传感器	38
3.3.6	光纤光栅传感器	45
3.3.7	电容式传感器	47
3.3.8	压阻式传感器	48
3.3.9	伺服加速度计传感器	48
3.4	变形观测仪器	48
3.4.1	变形观测项目及仪器	48
3.4.2	位移计	51
3.4.3	测斜仪	58
3.4.4	沉降仪	66
3.5	压力测量仪器	77
3.6	水位仪器及其测试方法	86
3.7	温度测量仪器	88
3.8	振动传感器及采集设备	91
	思考题	103
第4章	监测资料的整理分析和反馈	104
	【学习要点】	104
4.1	概述	104
4.2	监测资料的搜集和整理	107
4.3	监测资料的分析方法	118
	思考题	130
第5章	路基稳定性监测实例分析	131
	【学习要点】	131
5.1	京津城际软土路基稳定性监测实例	131
5.1.1	工程概况	131
5.1.2	实测方案的布置原则	132
5.1.3	现场实测方案	132
5.1.4	布置方案	133
5.1.5	数据分析	133
5.2	尹中机场高速公路粉喷桩复合地基工程	143
5.2.1	地质概况	143
5.2.2	工程概况	144
5.2.3	试验方案	144
5.2.4	测试成果分析	144
5.3	青藏铁路多年冻土斜坡路基稳定性监测	150
5.3.1	试验段自然地理概况	150
5.3.2	工程地质条件	150

5.3.3	安多斜坡路基的形式	150
5.3.4	地温变化特征分析	153
5.3.5	斜坡路基水平位移变化特征	156
5.3.6	沉降变化特征	160
5.3.7	横断面方向的沉降变化特征	162
5.4	高速铁路路涵过渡段监测	163
5.4.1	工程条件	163
5.4.2	研究目标	166
5.4.3	测试内容	166
5.4.4	动静态测试数据分析	169
思考题		176
附录		177
参考文献		180

第1章 绪 论

【学习要点】

要求掌握路基稳定性的影响因素；了解路基稳定性监测技术的发展和趋势；理解监测过程中的原则和步骤。

1.1 路基稳定性概况

在我国“十二五规划”期间，加强了对中国铁路路网的完善和高速铁路的兴建力度，为确保铁路的安全建设和运营，路基作为铁路主要组成部分，其稳定性监测是重要工作内容之一。

在实际工程应用中，路基在恒载与活载共同作用下要有足够的强度和稳定性，要求路基强度不会因温度的变化或某种原因引起的沉降变形而显著降低，从而降低公路路面的使用质量或降低铁路的平顺性能。路基的稳定性取决于路基填料及地基的强度和变形性质。

当荷载或自然因素作用产生的应力或变形超过路基的允许强度或允许变形时，路基则有可能发生破坏，其破坏形式一般有：填方路堤的沉陷开裂、填方边坡的溜方或滑坡、挖方边坡的溜方或滑坍、挖方边坡的崩塌或碎落、挖方路基体的软弱或沉陷。其中，填方路堤的沉陷开裂、填方边坡的溜方或滑坡、挖方路基体的软弱或沉陷将直接导致路基的破坏。高速铁路无砟轨道下的路基，如果其工后沉降超过一定限值（超过轨道扣件调整量），将无法保证无砟轨道的高平顺性。路基破坏或路面破坏都会大大降低铁（公）路的使用性能。维修破坏的路基，不仅需要消耗大量的人力、物力和财力，而且还会严重阻碍交通，引起极不良的社会反响。因此，设计单位、施工单位和养护部门都高度重视，保证路基的强度和稳定性，应根据具体情况采取有效技术措施，切实保证路基设计的合理性、路基施工的高质量、路基养护的及时性。

影响路基稳定性的因素包括路基压实不够、路基基底处理不当、路基填料稳定性差、工后沉降过大等内容。

（1）路基压实不够 路基在填筑过程中，压实不够会带来以下两个直接导致路基稳定性差的问题：

1) 压实不够的土体在自重荷载和行车荷载作用下的固结变形空间很大，在固

结过程中将产生工后沉降。

2) 压实不够的土体渗透系数依然较大,水稳性差,容易受水的浸泡,整个土体会趋于同一含水量和同一密实度,在这个“趋一”的过程中,土体将发生较大的变形,从而产生沉降。

(2) 路基基底处理不当 路基基底处置不当是影响路基稳定性的一个重要因素。在路基填筑前,对原地面清表或清淤不彻底,原地面填前碾压达不到要求,导致基底软弱、承载力不足,使路基下沉。

【案例 1-1】 在某高速公路路基填筑结束后进行水稳基层施工时,有局部路段基层出现纵向裂缝,由于该段填土高度较小(约 1.5~2.0m),便使用挖掘机将裂缝挖开几处。从现场挖开的情况看,路基基底有淤泥未清干净,路基底部填土含水量大、松散、密实性差,检查当时的施工记录及监理日志,发现该处有 1m 宽、0.5m 深的小水沟在路基填筑范围内,施工时没有对水沟进行特别的处理,直接把水沟平了。由于基底在水沟处,淤泥未清干净,沟底地基土软弱,承载力不足,加上水沟回填时,由于压路机碾压宽度不足,没有分层碾压,回填质量差,使得该处填土沉降,将路基拉裂。后来对该段进行返工处理时,发现纵向裂缝走向基本和水沟走向一致。

(3) 路基填料稳定性差 使用稳定性差的土质作为填料填筑路基时,如果不采取一些必要的措施加以处理,在正常年份内路基可能是稳定的,但遇到某个不利年份,路基仍将会产生不均匀沉降或沉降变形。因此,稳定性差的路基填料将直接导致路基的稳定性差。

(4) 工后沉降过大 对含有深厚软土的地基,其工后沉降过大,也常导致工程事故的发生。同时,工后沉降也常会引起路基的不均匀沉降,从而使结构物内产生有害内力,导致道路的不平整(轨道的不顺)及桥头跳车。

1.2 路基稳定性监测技术概况

1.2.1 路基稳定性监测技术的发展

工程监测技术是在工程建设和使用期间的工程事故给建设者提供教训之后,随着工程技术人员通过各种监测手段预测和防止工程事故的实践而逐步发展起来的。而路基稳定性监测工作开展较晚,因传统观点认为路基只属于挖填方,没有安全监测必要。所以,普通的低级别的公路或铁路路基建设均没有涉及路基稳定性监测。随着高级别的公路和铁路兴建,其沉降控制要求和稳定性要求,要求对线路重要部位和地段进行实时监测,从而指导设计和施工。同时,新技术的发展

和新的设计理念,也需要适当的监测评估手段来提出相应的设计参数。重要的铁路工程,在试验段的建设过程中,也需要通过相应的现场测试,从而选择合理的设计和施工参数,为大面积的推广提供依据。

路基工程的失稳破坏是一个从渐变到突变的发展过程,要判断路基结构物处于哪个工程状态,必须依靠设置精密的监测仪器、分析监测得到的数据来确定。为实现这个过程,首先要做出符合工程实际的观测设计,其次明确观测目的、实施观测内容、确定观测仪器和频率和分析观测数据结果,最后明确提出相应的安全性控制标准。仪器的选择要考虑整个工程的地质条件,地形地貌特点和路基工程特点。仪器的埋设、布置和数量是根据已知条件和分析目的,以工程和工程周围环境的特性决定。

从20世纪80年代以来,我国土木行业蓬勃发展,对于监测项目的确定、仪器的选型、仪器的布置、仪器的埋设技术与观测方法、观测资料的整理分析等项目的工作也得到了逐步发展。虽然,工程监测要求在工程设计中也同时考虑监测仪器的布置,编写实施技术要求。但是,由于监测主观意识和硬件设施研制起步较晚,我国的工程监测技术还远不能适应工程建设发展的需要。对于路基安全监测设计,由于无规范性的实施方案可循(只有土木、水利方面的监测建立了一些行业规范),很难做到经济合理、安全可靠,当然也达不到时间和空间上连续性的要求,尤其是针对工程和地质结构特点进行布置,使其做到行之有效并经济合理尚缺乏经验。因此,对研究对象的情况了解不清,盲目布设传感器数量和位置等造成浪费的现象时有发生。同时,在实际监测设计选用仪器时,如何考虑仪器的技术性能、埋设和测读的简繁以及费用的合理性,还缺少可靠的依据。由于仪器种类很多,生产同类产品的厂家也鱼目混珠,技术性能和运用条件各不相同,要做好安全监测,就有仪器选型的问题。许多监测项目工程由于没有明确监测目的和落实监测仪器选型原则,盲目采用进口高精度仪器,或者主观地采用自己习惯的或自制的仪器,造成仪器失效或测得的资料不符合监测精度要求或苛于精度,从而导致数据无法分析或监测精度的浪费。仪器埋设技术和观测方法,由于缺少标准,问题也越加突出,有些新仪器虽然性能可靠,但由于实际应用较少,在环境恶劣的路基工程中,不敢使用;用得多的仪器,安装埋设技术要求得不到保证,观测方法又不当,大量的仪器因此而失效,或得不到满意的成果。

我国进行工程监测最早的行业为水利工程行业,工程技术人员在进行水库大坝施工中实现了实时监测。我国从20世纪80年代初开始,在科技攻关和工程实践方面对工程监测所存在的问题进行了广泛而深入地研究,监测设计和监测方法得到了不断的改进。例如:在一些大型工程中深入研究了安全监测布置;一些考虑地质地貌条件、岩土体工程技术性质、工程布置、监测空间和时间连续性的要求

等因素的安全监测布置原则和方法相继提出；在充分研究了路基稳定性安全监测仪器的使用经验和效果、仪器种类和技术性能、质量评定标准的基础上，确认了一批供仪器选型用的仪器；对这些仪器的技术指标、适用条件、稳定性等也有了评定标准；安全监测仪器安装埋设与观测的标准化、程序化和质量控制措施也逐步的形成、完善。20 世纪 90 年代，岩土工程安全监测手段的硬件和软件迅速发展，监测范围不断扩大，监测自动化系统、数据处理和资料分析系统、安全预报系统也在不断的完善。土木工程设计采用新的可靠度设计理论与方法以来，安全监测成为必要的手段，成为提供设计依据、优化设计和可靠度评价不可缺少的手段，成为工程设计、控制施工质量的重要手段。二滩、三峡、小浪底等大型监测工程的设计、施工、观测、资料整理分析和质量控制基本实现标准化、自动化，监测技术水平有较大的提高。

【案例 1-2】 为确保青藏铁路施工安全，在施工建设中进行了温度和变形的监测，而在铁路通车运营阶段，采用了铁路 GSM-R 网络系统实现了地温监测的自动化。随着我国开通多条速度达 350km/h 的无砟轨道，为确保铁路工后沉降量小于 15mm 的原则上，每 50m 确定一个沉降观测断面，进行路基中心和路基剖面的沉降监测。

1.2.2 路基稳定性监测的原则

路基稳定性包括路基边坡的抗滑稳定性、寒区路基的热稳定性及软土路基的沉降稳定性、特殊土路基的处理适宜性等。由于不同地段的路基的评价标准的不同，因此，路基稳定性监测的原则和内容也不同。路基稳定性监测的目的必须根据工程条件明确地确定，一般情况下，路基稳定性监测均以工程安全施工和安全运行为主要目的。因此，监测项目的确定应考虑如下原则：

- 1) 观测成果主要用于设计、施工的技术校核和修改时，选定起控制作用的项目。
- 2) 观测成果用于及时预报施工和运行安全程度为目的时，应确定一项、多用、数据长期可靠的项目。
- 3) 应针对危及构筑物稳定的关键问题和控制性观测来确定项目。
- 4) 探查不稳定部位或影响稳定的因素时，应尽可能采用系统项目。
- 5) 施工安全监测的项目要简单，不干扰施工，取得成果要快。
- 6) 监测成果主要用于科研和发展新技术时，要按专项和全项两种方式选定。问题简单明确的用专项，问题模糊的尽可能用全项。
- 7) 为了校正主要观测项目成果的观测，要针对影响因素的类型确定项目。
- 8) 确定观测项目要考虑仪器设备的经济，使用方便及可能性等条件。

9) 长期观测项目, 应能较全面地反映路基工程的实际运行情况, 力求少而精; 且不能干扰线路运营, 最好实现自动采集和无线传输。

10) 工程安全监测系统中都应当有巡视检查项目。

1.2.3 路基稳定性监测的步骤

路基稳定性监测的步骤: 确定工程条件→确定监测的目的→监测变量的选择→预测运行性状→监测仪器的选择→监测系统的布置和设计→监测系统自动化设计。

(1) 确定工程条件 工程条件包括工程形式和几何尺寸、地质条件和工程技术特性、地下水情况、环境条件、对生命财产形成的威胁、临近建筑物或其他设施的状况、设计的施工方法和施工程序、使用年限等。监测系统的确定和建立取决于工程的条件, 不同类型的建筑物只有几个观测物理量是相同的。工程类型、结构类型、所用材料、尺寸、使用年限等, 这些使得与建筑物安全相关的参量, 在各种情况下不尽相同。可根据地基条件、地基处理形式、路基结构和路基不同地段不同工程分类。例如: 地基条件可分为软土路基、冻土路基和黄土路基等; 路基不同地段可以分为路桥过渡段、滑坡地段等。

对每个观测参量都要明确其在建筑物寿命的各个阶段(施工期、运行期)的安全、事故率和科学发展方面的重要性, 对所用的最普通的观测仪器也要有概略的说明。

总之, 确定一个标准的监测系统不是一件容易的事, 需要按每种不同工程条件分别确定。因此, 在监测工程设计前, 应对工程条件资料进行广泛地收集分析, 必要时进行现场调查、勘测和试验。查清工程薄弱点和敏感区, 确定路基和地基问题。

(2) 确定监测的目的 监测的目的必须根据工程条件明确地确定。监测的主要目的是确定工程是否处于预计的状态, 监测的目的也可能是施工控制、诊断不利事件的特性、检验设计的合理程度、证明施工技术的适应程度、检验长期运行性能、促进技术发展和确定其合法的依据等。一般情况下, 监测的目的包括:

1) 监测的主要目的是为控制和显示各种不利情况下工程性能的评价和在施工期、运行初期和正常运行期对工程安全进行连续评估所需要的资料。

2) 修改工程设计。监测除表明工程的“健康状况”外, 研究监测工程状况的累积记录有助于对工程设计进行优化设计, 完成设计的修改, 常出现在新方法和新技术的应用工程中。并可以通过观测数据与理论上和试验中预测的工程特性指标进行比较, 以便了解设计的合理程度。

3) 改进分析技术。工程设计一般需要根据岩土体、填筑材料特性和轨道车辆

结构性能的保守假设来进行严密而复杂的力学分析。这些假设是用来规定设计中的“未知数”或不定值。监测提供的资料及各种因素对工程运行性能影响的评价,将有助于减少这些未知数,从而可以进一步完善和改进分析技术及工程试验。使未来的各种设计参数的选择更加趋于经济、合理。

4) 提高人们关于各种参数对工程性能影响的认识。例如:青藏铁路建设过程中,温度是一个重要的影响因素,因为冻土人为上限的位置和形态,将影响冻土路基的沉降和裂缝的产生。

有了上述明确的监测目的,可以有的放矢地进行监测变量选择和监测系统的建立,为安全生产和运营提供保障。

(3) 监测变量选择 路基工程在其施工期间,由于工程条件(路填高度或基底处理)会引起各种物理量的变化。在其服役期限内会经受周围环境变化的作用,并根据环境的变化做出不同性质的反应。在观测工程的性态时,各种物理量的取得取决于:

1) 原因或环境参量,即成因量,由于它们的变化而引起构筑物性态的变化。

2) 效应参量(结果参量)即效应量,构筑物对原因参量变化而产生的反应。

按照监测目的不同又可分为工程性态观测量和科研工作观测量。原因参量和效应参量随时间而不断地变化。为评估与建筑物的反应模式有关的相关关系,必须对这些变化进行测量。由于这种测量要在建筑物寿命期限内系统重复地进行很多次,唯一实用的解决办法是配备专用于监视的永久性监测系统。因此,建立一个有效的监测系统必须选好监测变量。

(4) 预测运行性状 在监测系统建立前,需要判断自然环境、施工阶段等对监测系统和监测物理的影响,进而选择合适的监测传感器。例如,当采用沉降杯(液体沉降计)监测表面沉降过程时,若在北方寒冷季节,则需要采用防冻的液体来进行量测;在敷设传感器的导线时,需要避开边坡削坡的位置。

(5) 监测仪器的选择 对于监测仪器的选择需要考虑以下两个部分:

1) 考虑监测变量的变化幅度,在不超出量程的前提下尽量选择精度高的传感器实现精度要求。

2) 最大可能地实现经济合理的要求,不要任意选择精度过高而造成监测成本过大。

(6) 监测系统的布置和设计 结合监测的目的和监测内容,合理布置监测系统。如一些监测项目,要求验证新技术、新方法的使用效果,则需要选择对比的常规内容达到此目标。监测系统各个监测项目,最好能达到相互验证,从而更能验证其测试量。监测项目的设计包括以下内容:监测项目的土建设计,包括相应的成孔作业、电缆布设及相应的保护措施;断面设置及监测项目的布置;电

缆走线；传感器率定、安装及初测；长期监测系统的维护及保养设计。

(7) 监测系统自动化设计 自动监测可以按设定的要求进行无人工自动采集、传输以及分析，可以达到常规无法实现的内容。例如，在一些营业高速铁路上，无法用人工实现变形等物理的测试。自动化设计中需要注意，由于成本较高，其传感器必须选择能保证精度且长期稳定性较好的厂家，同时常需要有备用的传感器来实现。同时，在系统中应该设计人工观测接口，以便在系统建设完成之前或系统出现临时故障时进行人工实测，或在正常时进行校测。系统应够容易数据输出，且在现场还有一定的存储时间，以备传输设备出现故障时仍保留相当长时间的现场数据。数据格式应该兼容性强，能够实现多种形式功能的数据库。

对于开通运营的高速铁路，采用轨检车能完成轨道结构所提供的各类静、动参数，但对于路基内部的物理量是无法获取，运营铁路中是杜绝人员在线路上进行任何监测工作，因此，采用自动化监测是高速铁路在运营期间监测的有效方法。

1.2.4 路基工程监测的基本要求

路基工程监测的总体要求是监测内容全面，成本低且不影响施工和铁路运营，具体要求如下：

1) 监测点应设在观测数据容易反馈、不与施工冲突的部位。在地基条件差、地形变化大的情况下，每个设计方案处理区域的部位均应设置监测点，尤其是每个涵洞、桥头路段必须设置；对于桥头纵向坡脚、填挖交界的填方段，沿河、临空面大等特殊部位应酌情设置。

2) 监测点数的设置既要避免因点数过多导致费用过大，又要防止因点数太少难以反映全线路基的实际情况。因此，从满足监测需要和施工便利性的角度出发，一般路段沿路线纵向方向每隔 100 ~ 200 m 设置一个监测断面，桥头地段应设计 2 ~ 3 个监测断面。如地质变化、填土高度过渡变化大时，监测断面应适当增加。

3) 沿河、临河等临空面大的地段和填土高度超过 4m 的地段，应进行深层水平位移观测。

4) 测点的设置不仅要根据设计的要求，还要根据施工中掌握的地质、地形等资料进行增设。

5) 观测频率视不同时期而定，其中填土期为每日观测 1 ~ 2 次；预压期第 1 ~ 4 周隔日观测 1 次；预压期第 4 周至第 3 个月每周 1 次；预压期第 3 个月之后至上路面完毕每半月观测 1 次；从营运开始至设计观测期每半年观测 1 次。对于孔隙水压力的观测，每填筑一层后，应每隔 1 h 观测一次，连续观测 2 ~ 3 d。设计观测期为施工开始至营运期的头 2 年。

6) 当路堤稳定出现异常情况而可能失稳时，应立即停止加载并采取果断措

施,待路基监测数据恢复稳定并确认无问题时,方可继续填筑。

1.2.5 监测仪器的设置原则及监测设计控制标准

1. 监测仪器的设置原则

监测仪器一般埋设在路中、路肩、路基坡脚及坡脚外的区域,设置的位置既不妨碍施工,又能进行有效的监测,同时在运营过程中易于保存。

对于需要无线传输的地段,其发射天线不得受路基及其附属设备阻挡与基站的联系。

2. 监测设计控制标准

1) 路基加载时,填筑速率应由施工观测来控制。填筑速度根据以下标准进行双控:路基中心的表面沉降速率宜控制在 5mm/d (管桩区、搅拌桩区)和 10mm/d (排水板区以内,极限填土高度下可采用 $15\sim 20\text{mm/d}$),坡脚处的侧向位移宜控制在 5mm/d 以内;单级孔压系数(各级加载的孔隙水压力增量与荷载增量之比)小于 0.8 ,综合孔压系数小于 0.6 。

2) 路基中心的表面沉降速率在 5mm/d 以内时,可以进行下一层路堤的填筑。

3) 填土至预定高程后,经过一定的预压期,在推算的工后沉降小于设计允许值或满足连续3个月不超过 5mm/月 的沉降速率时方可考虑卸载。

思 考 题

1-1 影响路基稳定性的因素包括哪些?

1-2 简述路基稳定性监测原则和步骤。

第2章 路基的监测方案设计

【学习要点】

掌握软土、黄土和冻土的特殊工程性质以及在以上地区的路基稳定性的监测方案；理解滑坡、泥石流具有地质灾害时路基稳定性监测方案；掌握路桥过渡段路基动态监测方案。

特殊路基设计包括特殊土路基和特殊地段路基。特殊土指与一般工程性质有显著差异的土类，具有特殊的物质组成和结构构造。我国主要区域性特殊土包括软土、冻土、黄土、红黏土、膨胀土等。它们的工程性质差异很大且对路基工程危害较大，不同类型土应采取不同的监测方案，及时把监测数据反馈给设计方、施工方或运营方，形成良好的监测程序和预警系统，避免造成较大的灾害。

而在线路不同部位（如路桥过渡段），由于存在刚度差异，常引起差异沉降，从而导致桥头跳车等不利的行车工况。因此，特殊地段需要监测沉降和压力的差异，为设计方提供设计理论依据。

2.1 特殊土路基的监测方案

2.1.1 软土路基

软土泛指天然含水量大、压缩性高、抗剪强度低、灵敏度高、承载力小的呈软塑到流塑状态的饱和黏土，是近代沉积的软弱土层。JGJ 83—2011《软土地区工程地质勘察规范》将含水量 $\geq$ 液限，天然孔隙比 ≥ 1.0 ，外观以灰色为主的细粒土定义为软土。TBJ 1408—2012《铁路工程特殊岩土勘察规程》将含水量 $W \geq 30\%$ ，孔隙比 $e \geq 0.8$ ，压缩系数 $\geq 0.5\text{MPa}$ ，灵敏度 $2 \sim 10$ ，不排水抗剪强度 $C_u \leq 30\text{kPa}$ 的各类细粒土定义为软土。在铁道工程行业中，还有一个松软土的概念，其实它不是一个严格意义上的地质学名词，是针对京沪高速铁路设计时路基沉降变形要求高而在勘察时提出需要特殊对待的一类土的特称。松软土场地判定条件见表2-1。